

**Piezoelektrische Antriebseinheit und Verfahren zur Erzeugung einer
vorzugsweise rotatorischen Antriebsbewegung einer solchen
Antriebseinheit**

5 Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine piezoelektrische Antriebseinheit und ein Verfahren zur Erzeugung einer vorzugsweise rotatorischen Antriebsbewegung einer solchen Antriebseinheit. Die Antriebseinheit umfasst einen Stator einen Rotor und Antriebselemente in Form von vorzugsweise mehreren piezoelektrischen Aktoren.

Stand der Technik

15 Piezoelektrische Aktoren oder Elemente ändern unter dem Einfluss einer veränderlichen elektrischen Spannung ihre Länge. Dadurch ist es möglich und bekannt, in einem kinematischen System eine zwangsläufige Bewegung derart zu erreichen, dass die Translation oder Rotation eines Gliedes genutzt werden kann bis hin zur fortlaufenden Bewegung. Man spricht hier auch von einem

20 sogenannten Wanderwellenantrieb, beschrieben z.B. in W. Schinköthe, M. Hermann: „Aktorik in der Feinwerktechnik“, Teil 2, IKFF, Universität Stuttgart, Ausgabe 4/1997. Der Wanderwellenantrieb ist eine besondere Form eines Ultraschallantriebes. Er nutzt die elliptische Oberflächenbewegung einer fortlaufenden resonanten Biegewelle. Ein derartiger Schwingungszustand kann

25 unter bestimmten Anregungsbedingungen durch Überlagerung von Eigenformen in geometrisch geschlossenen Resonatoren erzeugt werden. Üblicherweise werden dafür einfache geometrische Grundkörper wie Scheiben, Ringe oder hohle Zylinder verwendet. Die folgenden Ausführungen zeigen kurz die Entstehung von Wanderwellen, ohne auf das Problem der an die Geometrie geknüpften

30 Eigenformen näher einzugehen. Zunächst soll die Gleichung einer stehenden Welle betrachtet werden.

$$y_1 = a \cdot \sin(k \cdot x) \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

- Durch Addition einer zweiten stehenden Welle gleicher Amplitude, die sich durch eine zeitliche Phasenverschiebung Φ_0 und eine räumliche Phasenverschiebung $k \cdot x_0$ unterscheidet, ergibt die resultierende Schwingung folgende Gleichung.

$$y = y_1 + y_2 = a \cdot \sin(k \cdot x) \cdot \sin(\omega \cdot t) + a \cdot \sin(k \cdot x + k \cdot x_0) \cdot \sin(\omega \cdot t + \Phi_0)$$

- Trigonometrische Umformungen überführen die Ausgangsgleichung in die folgende Form.

$$\begin{aligned} 2y = y_1 + y_2 = & a \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t) - a \cdot \cos(k \cdot x + \omega \cdot t) \\ & + a \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t + k \cdot x_0 - \Phi_0) - a \cdot \cos(k \cdot x + \omega \cdot t + k \cdot x_0 + \Phi_0) \end{aligned}$$

- Für eine räumliche Phasenverschiebung von $x_0 = \lambda/4$ und eine zeitliche Phasenverschiebung von $\Phi_0 = T/4$ reduziert sich die Zahl der Wanderwellen auf die folgende Gleichung einer einzigen Wanderwelle.

$$y = a \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

- Eine zeitliche Phasenverschiebung von $\Phi_0 = -T/4$ kehrt die Drehrichtung der Wanderwelle um. Für abweichende Werte der zeitlichen und räumlichen Phasenverschiebungen bleibt eine Überlagerung aus umlaufenden und stehenden Wellen.

- Zwei stehende BiegeWellen bilden die Voraussetzung für die Erzeugung einer Wanderwelle. Figur 7a (obere Zeichnung) zeigt ein Trägermaterial 29, an dem zwei piezoelektrische Elemente 30, 31 angeordnet sind. Eine stehende BiegeWelle kann durch unterschiedliche Ausrichtung (Polarisation) der einzelnen Elemente 30, 31 und entsprechende Ansteuerung erreicht werden. Liegt an beiden Elementen 30, 31 die selbe Spannung U an, verlängern bzw. verkürzen sich die Elemente je nach ihrer Polarisation, wie es in Fig. 7b gezeigt ist, und das

Trägermaterial 29 wird wellenartig verformt. Jedes Element 30, 31 erzeugt eine halbe Wellenlänge der entstehenden sinusförmigen stehenden Welle. Durch Umpolen der angelegten Spannung wird eine entgegengesetzte Biegewelle erzeugt.

5

Nach dem heutigen Stand der Technik werden Aktoren als piezoelektrische Biegewandler oder Translatoren einzeln, in Gruppen oder in Verbindung mit Wegveränderungssystemen für eine fortlaufende translatorische oder drehende Bewegung eines Antriebsgliedes selbst in Längs- oder

- 10 Biegeschwingungen versetzt, um einen eigenen ausgewählten Punkt auf einer geschlossenen Bahn zu bewegen, die geeignet ist diese Bewegung durch Reibpaarung mit einem Abtriebsglied auf dieses zu übertragen. Dieses Prinzip wird bei sogenannten Ultraschallmotoren eingesetzt. Andere Ausführungen bewirken durch Klemmen und Lösen eine Mitnahme, also auch durch
- 15 Reibschluss. Durch eine ringförmige Anordnung von Aktoren und ihre periodische Ansteuerung kann eine Wanderwelle erzeugt werden, die auf einen Rotor übertragen, diesen in Drehung um seine Rotationsachse versetzt. Eine solche rotierende Ausführung eines piezoelektrischen Motors ist zum Beispiel in der EP 449 048 B1 offenbart.

20

- Die bekannten Lösungen besitzen unter anderem den Nachteil, dass hier eine Bewegungsübertragung durch Reibschluss erfolgt. Dabei wird die Kraft- und Momentenübertragung durch die erforderliche Mindestvorspannung an der Paarungsstelle und den Reibbeiwert bestimmt. Ferner tritt ein unerwünschter
- 25 Verschleiß an der Reibpaarungsstelle auf. Zur Sicherung der Funktion werden Piezomotoren mit Reibschluss an der Bewegungsübertragungsstelle mit hoher Frequenz betrieben. Eine Drehzahlverstellung ist über die Frequenz dabei kaum möglich. Schließlich sind die übertragbaren Momente dieser Motoren insbesondere bei Biegeschwingern sehr gering.

30

Offenbarung der Erfindung

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine piezoelektrische Antriebseinheit zur Erzeugung einer vorzugsweise rotatorischen Antriebsbewegungen zu schaffen, bei der auf eine Bewegungsübertragung durch Reibschluss mit allen seinen Nachteilen verzichtet wird.

5

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Antriebseinheit gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 1 gelöst. Ein Verfahren zur Erzeugung einer vorzugsweise rotatorischen Antriebsbewegung einer solchen Antriebseinheit ist im unabhängigen Patentanspruch 10 angegeben.

10

Bevorzugte Ausgestaltungen und weitere vorteilhafte Merkmale der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

15

Die Antriebseinheit umfasst erfindungsgemäß einen mit einem fluiden Medium gefüllten ringförmigen Spalt, der zwischen einander zugewandten Oberflächen des Stators und des Rotors ausgebildet ist, mehrere, an den Spalt angrenzend angeordnete piezoelektrische Aktoren, die bei elektrischer Anregung nach einem vorgegebenen Schema oder einer vorgegebenen Funktion eine im Wesentlichen radiale Längenänderung in Richtung des Spaltes ausführen, derart, dass die abgegebene mechanische Energie der Aktoren als Strömungsenergie auf das fluide Medium übertragen wird, wobei die Strömungsenergie des fluiden Mediums auf den Rotor übertragen und in eine rotatorische Antriebsbewegung des Rotors umgesetzt wird.

20

Der Vorteil der Erfindung liegt darin, dass die Bewegungsübertragung auf den Rotor nahezu verschleißfrei durch die dem fluiden Medium mittels der piezoelektrischen Aktoren aufgeprägte hydrodynamische Energie erfolgt. In vorteilhafter Weise bietet sich ein derartiges Antriebskonzept bei Motoren an, deren Rotor mittels eines hydrodynamischen Lagersystem gelagert ist.

25

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind die piezoelektrischen Aktoren entlang des Umfangs des Spaltes in einer gemeinsamen Ebene

30

angeordnet, wobei die Ebene vorzugsweise etwa senkrecht zur Rotationsachse verläuft.

5 Dabei sind die piezoelektrischen Aktoren segmentartig ausgebildet und an die ringförmige Geometrie des Spaltes angepasst.

10 Zur besseren Übertragung der hydrodynamischen Energie des Fluids auf den Rotor weist ein Teil des Rotors vorzugsweise über seinen Umfang verteilt angeordnete, dem Spalt zugewandte und von dem fluiden Medium umströmte rippenförmige Vorsprünge auf.

Die Lagerung des Rotors gegenüber dem Stator kann auf bekannte Weise mittels Wälzlagersystemen erfolgen.

15 Vorteilhaft bietet es sich aber an, den Rotor mittels eines hydrodynamischen Lagersystems im Stator zu lagern. Auf diese Weise kann ein Teil des Lagerspalts gleichzeitig als Spalt für das Antriebssystem verwendet werden. Das als Schmiermittel verwendete fluide Medium des hydrodynamischen Lagers dient dabei gleichzeitig als Antriebsmedium.

20 Die Antriebseinheit kann vorteilhaft als Spindelmotor zum Antrieb der Speicherplatten eines Festplattenlaufwerks ausgebildet sein.

25 Nach den erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt die Kraftübertragung bei der beschriebenen piezoelektrischen Antriebseinheit nach dem hydrodynamischen Prinzip, wobei die von den piezoelektrischen Aktoren abgegebene mechanische Energie in Strömungsenergie eines fluiden Mediums gewandelt wird, welche vom Rotor der Antriebseinheit wieder in mechanische Energie rücktransformiert wird.

30 Die Drehzahl des Rotors bzw. das erreichbare Drehmoment ist unter anderem abhängig von der Frequenz mit der die Aktoren angesteuert werden und dem Grad der Längenänderung (abhängig von der angelegten Spannung).

Zur Beschreibung der Übertragungsfähigkeit von hydrodynamischen Antrieben dienen daher die Grundlagen der Strömungslehre. Betrachtet man den im Spalt umlaufenden Fluidstrom, so errechnet sich die darin enthaltene Leistung aus der Größe des fließenden Massenstroms und aus der ihm
5 aufgeprägten spezifischen Energie (Geschwindigkeit). Für die Strömung im Ringspalt lassen sich die Beziehungen aus den von Bernoulli erarbeiteten Grundlagen entwickeln.

10 Für eine bestmögliche Leistungsübertragung ist die Strömung im Spalt vorzugsweise quer zur Rotationsachse der Antriebseinheit gerichtet.

Es ist eine elektronische Steuerungseinrichtung vorgesehen, welche die piezoelektrischen Aktoren nach einem vorgegebenen Schema oder einer vorgegebenen Funktion elektrisch ansteuert, so dass sich im Lagerspalt eine
15 gewünschte Strömung des fluiden Mediums einstellt.

Dabei werden in Bezug auf die Rotationsachse gegenüberliegende piezoelektrischen Aktoren vorzugsweise paarweise angesteuert.

20 Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachstehend anhand von Zeichnungsfiguren näher erläutert.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

- 25 Figur 1 zeigt einen Längsschnitt durch eine als Spindelmotor ausgebildete, erfindungsgemäße Antriebseinheit;
- Figur 2a zeigt einen Querschnitt der Antriebseinheit im Bereich der piezoelektrischen Aktoren während einer ersten Ansteuerungsphase;
- 30 Figur 2b zeigt einen Querschnitt der Antriebseinheit im Bereich der piezoelektrischen Aktoren während einer zweiten Ansteuerungsphase;

- Figur 2c zeigt einen Querschnitt der Antriebseinheit im Bereich der piezoelektrischen Aktoren während einer zweiten Ansteuerungsphase;
- Figur 3 zeigt ein schematisches Diagramm des zeitlichen Verlaufs der an die piezoelektrischen Aktoren angelegten Steuerspannungen.
- Figur 4 zeigt ein Schema einer ringförmigen piezokeramischen Anordnung (entnommen aus Schinköthe et al).
- Figur 5 zeigt eine Lagerhülse als Teil eines hydrodynamischen Gleitlagers zur Integration einer piezoelektrische Antriebseinheit.
- Figuren 6 zeigen weitere mögliche Ausgestaltungen von piezokeramischen Anordnungen.
- Figuren 7 zeigen eine piezokeramische Anordnung aufgebracht auf ein Trägermaterial im Ruhezustand und angeregtem Zustand (entnommen aus Schinköthe et al).

Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung

- In Figur 1 ist eine als Spindelmotor ausgebildete erfindungsgemäße Antriebseinheit dargestellt, wie sie zum Beispiel zum Antrieb von Speicherplatten eines Festplattenlaufwerks eingesetzt werden kann.
- Die Antriebseinheit umfasst einen Stator in Form einer feststehenden Lagerhülse 1 mit einer axialen zylindrischen Bohrung, in welcher eine Welle 2 um eine Rotationsachse 11 drehbar aufgenommen ist. Die Lagerhülse 1 selbst ist in einem Basisflansch 3 eingepresst. Zwischen dem Innendurchmesser der Lagerhülse 1 und dem geringfügig kleineren Außendurchmesser der Welle 2 ist mindestens ein hydrodynamischer Radiallagerbereich mit einem Lagerspalt 4 vorgesehen, der mit einem Schmiermittel, vorzugsweise einem fluiden Medium 10, gefüllt ist. Dieser Radiallagerbereich ist in bekannter Weise durch ein Rillenmuster (nicht

dargestellt) gekennzeichnet, das auf der Oberfläche der Welle 2 und/oder auf der Innenfläche der Lagerhülse 1 vorgesehen ist. Sobald die Welle 2 in Rotation versetzt wird, baut sich aufgrund des Rillenmusters ein hydrodynamischer Druck im Lagerspalt 4 bzw. im darin befindlichen fluiden Medium auf, so dass das Lager

5 tragfähig wird.

Ein durch eine mit der Welle 2 verbundene Druckplatte 5 und eine Abdeckplatte 6 gebildetes hydrodynamisches Drucklager am unteren Ende der Welle 2 sorgt für die axiale Positionierung der Welle 2 in Bezug auf die Lagerhülse 1 der

10 Lageranordnung und nimmt die axialen Kräfte auf. Dieser Axiallagerbereich wird durch die Abdeckplatte 5 luftdicht verschlossen, so dass kein Lagerfluid aus dem Lagerspalt 4 austreten kann, der sich als Lagerspalt 4' zwischen Druckplatte 5, Lagerhülse 1 und Abdeckplatte 6 fortsetzt. Damit sich ein ausreichender

15 hydrodynamischer Druck im Axiallager aufbaut, sind die einander zugewandten Oberflächen der Druckplatte 5 und/oder der Abdeckplatte 6 ebenfalls mit einem Rillenmuster (nicht dargestellt) versehen.

Das freie Ende der Welle 2 trägt eine Nabe 7, auf dem eine oder mehrere Speicherplatten (nicht dargestellt) des Festplattenlaufwerks angeordnet und

20 befestigt sind.

Als Antriebselemente werden erfindungsgemäß mehrere piezoelektrische Aktoren (allgemein mit Ziffer 8 bezeichnet) verwendet. Im dargestellten Beispiel sind sechs Aktoren 8a, 8b, 8c, 8d, 8e, und 8f vorgesehen. Es können

25 aber auch mehr oder weniger als sechs Aktoren vorgesehen sein. Die piezoelektrischen Aktoren 8a-8f sind segmentartig ausgebildet und in einem Zwischenraum zwischen der Lagerhülse 1 und der Abdeckplatte 6 ringförmig um die Druckplatte 5 angeordnet, wobei sich der mit dem fluiden Medium 10 gefüllte Lagerspalt 4' des hydrodynamischen Lagers zwischen den Aktoren 8

30 und der Druckplatte 5 fortsetzt.

Die Aktoren 8 sind derart ausgebildet, dass sie bei Anlegen einer elektrischen Spannung eine bezüglich der Rotationsachse 11 radiale Längenänderung ausführen, das heißt dass sich die Strecke zwischen dem Außen- und Innendurchmesser der Aktoren 8 ändert. Da zumindest Teile der

5 Außenflächen der Aktoren 8 vorzugsweise fest an der radial innenliegenden Oberfläche der Lagerhülse 1 anliegen, wirkt sich die Längenänderung der Aktoren 8 ausschließlich radial nach innen in Richtung des Spaltes 4 bzw. der Druckplatte 5 aus.

10 Wie es in Figur 2b schematisch dargestellt ist, ist eine Steuerungseinrichtung 9 vorgesehen, die über Leitungsverbindungen mit den einzelnen Aktoren 8a-8f verbunden ist. Durch die Steuerungseinrichtung 9 werden die piezoelektrischen Aktoren 8a-8f nach einem vorgegebenen Schema oder einer vorgegebenen Funktion angesteuert. Figur 3 zeigt ein einfaches Beispiel
15 für den möglichen zeitlichen Verlauf der an die Aktoren 8a-8f angelegten Steuerspannungen.

Die Aktoren werden vorzugsweise paarweise periodisch angesteuert. Dabei werden die Aktorenpaare 8a+8d, 8b+8e und 8c+8f nacheinander jeweils für ein Drittel einer Periode T angesteuert.

20

Gemäß Figur 2a ziehen sich die Aktoren 8a+8d bei Anregung in radialer Richtung zusammen, so dass sich der an diese Aktoren angrenzende Spalt 4' verbreitet. Dadurch entsteht kurzzeitig ein Unterdruck im Medium 10, der dadurch kompensiert wird, dass das Medium in Richtung dieses

25

Spaltabschnitts fließt. Wie in Figur 2b zu sehen ist, werden nun die Aktoren 8a+8d ausgeschaltet und die Aktoren 8b+8e angeregt, so dass das Medium zwangsläufig im Gegenuhrzeigersinn in Richtung der Aktoren 8b+8e fließt. Schließlich werden gemäß Figur 2c die Aktoren 8c+8f angeregt, so dass das Medium in Richtung dieses Spaltabschnitts fließt. Hier wiederholt sich der

30

Zyklus mit der Aktivierung der Aktoren 8a+8d.

Infolge der abwechselnden Aktivierung der Aktorenpaare 8a+8d, 8b+8e und 8c+8f werden im fluiden Medium 10 Druckunterschiede erzeugt, die sich in Form einer Wanderwelle fortsetzen, so dass das fluide Medium 10 im Lagerspalt 4' in eine kreisförmige Strömung versetzt wird. Die

5 Strömungsenergie des fluiden Mediums im Spalt 4' wird auf die Druckplatte 5 übertragen und in mechanische Energie zurückgewandelt, die den Rotor, bestehend aus Druckplatte 5, Welle 2 und Nabe 7, in Rotation versetzt.

10 Um eine bessere Übertragung der Strömungsenergie des Mediums 10 auf die Druckplatte 5 zu erreichen, ist die Druckplatte 5 an ihrem Außenumfang vorzugsweise mit rippenartigen Vorsprüngen 12 versehen, die vom Medium umströmt werden. Diese Vorsprünge 12 setzen dem Medium einen Widerstand entgegen und wirken wie Schaufeln einer Turbine.

15 Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung werden für die Generierung einer Wanderwelle im Stator des Motors zwei stehende Wellen durch eine entsprechende Anordnung und Beschaltung von piezoelektrischen Aktoren angeregt. Zur Erläuterung des Prinzips ist in Figur 4 ein piezokeramischer Ring 13 dargestellt. Der Ring 13 ist auf seinem Umfang in zwei Anregungsbereiche 14, 15 unterteilt, von denen jeder eine stehende Welle erzeugt. Jeder Anregungsbereich 14, 15 beinhaltet beispielsweise acht piezoelektrische, segmentartige Aktoren 16, deren abwechselnde Polarisationen durch unterschiedliche Vorzeichen „+“ bzw. „-“ gekennzeichnet sind. Die Bedingung für das Entstehen einer reinen Wanderwelle ist die Einhaltung der räumlichen und zeitlichen Phasenverschiebung von $\pi/2$ bzw. $T/4$. Die räumliche Phasendifferenz kann durch ein zusätzliches Zwischensegment 17 der Länge $\lambda/4$ zwischen den beiden Anregungsbereichen realisiert werden. Der Ring 13 wird bei der neunten Biegeeigenfrequenz betrieben. Auf dem Umfang befinden sich dementsprechend 9λ , weshalb ein zweites Zwischensegment 18 der Länge $3\lambda/4$ zwischen den beiden Anregungsbereichen 14, 15 erforderlich ist. Die erforderliche zeitliche Phasendifferenz von $T/4$ wird durch die unterschiedliche Ansteuerung der beiden Anregungsbereiche 14, 15 erzielt.

20

25

30

Wird z.B. der erste Anregungsbereich 14 mit einem Signal $U = \hat{U} \sin(\omega t)$ angeregt, erfüllt die Anregung des zweiten Anregungsbereich 15 mit einem Signal $U = \hat{U} \cos(\omega t)$ gerade die zeitliche Phasenbedingung. Durch Vertauschen der beiden Anregungssignale kann die Laufrichtung der Wanderwelle und damit die

5 Drehrichtung des Motors umgeschaltet werden.

Das Zwischensegment der 17 Länge $\lambda/4$ kann gleichzeitig als Sensor zur Kontrolle des Schwingungszustandes dienen. Das andere Zwischensegment 18 der Länge $3\lambda/4$ ist nicht beschaltet.

10 Die in Figur 4 dargestellte ringförmige piezokeramischen Anordnung kann gleichermaßen als zylinderförmige Anordnung realisiert werden, die in einer Antriebseinheit gemäß Figur 5 verwendet werden kann.

Figur 5 zeigt eine Lagerhülse 19 als Teil eines hydrodynamischen Gleitlagers, in welche eine piezoelektrische Antriebseinheit integriert werden kann. Die

15 Lagerhülse kann beispielweise im Austausch für die in Figur 1 dargestellte Lagerhülse 1 verwendet werden.

Die Lagerhülse 19 umfasst entsprechend der in Figur 1 dargestellten Lagerhülse eine Bohrung zur Aufnahme einer Welle (nicht dargestellt) und eine erweiterte Bohrung zur Aufnahme einer an der Welle befestigten Druckplatte (nicht

20 dargestellt). Entsprechend Figur 1 ist auch hier zwischen den Oberflächen von Welle, Druckplatte und Lagerhülse ein Lagerspalt vorhanden der mit einem Lagerfluid gefüllt ist. Die Begrenzung der erweiterten Bohrung wird durch einen zylinderförmigen Bund 20 mit geringer Wandstärke gebildet. Dieser Bund 20 dient als Träger und Resonanzkörper für einen zylinderförmigen piezokeramischen Ring 21, der am Außenumgang des Bundes befestigt wird. Die Segmentierung des Ringes 21 kann Figur 4 entsprechen.

Vorzugsweise liegt der piezokeramische Ring 21 nur auf der der Welle zugewandten Seite der Lagerbuchse 19 an. Bei Anregung der piezokeramischen Anordnung 21 entsprechend der oben beschriebenen Weise wird eine

30 Wanderwelle erzeugt und auf den Bund 20 als zusätzlichen Resonator übertragen. Die Wanderwelle versetzt das zwischen dem Außenumfang der Druckplatte und dem Innenumfang des Bundes 20 befindliche Lagerfluid in eine gerichtete

kreisförmige Bewegung. Die Strömungsenergie des Lagerfluids wird auf die Druckplatte übertragen, die dadurch in Rotation versetzt wird und die Welle drehend antreibt.

- 5 Weitere mögliche Ausgestaltungen von piezokeramischen Anordnungen 22, 23, 24 sind in den Figuren 6a, 6b und 6c dargestellt. Dabei sind die piezoelektrischen Aktoren jeweils auf dem Umfang eines angedeuteten Resonators 25 (vgl. Bund in Figur 5) angeordnet.

- 10 Die Anordnung 22 gemäß Figur 6a umfasst 12 piezoelektrische segmentartige Aktoren 26 die wechselweise in Dreiergruppen angesteuert werden, ähnlich wie es in Verbindung mit den Figuren 2 beschrieben wurde.

Die Anordnung 23 gemäß Figur 6b umfasst 8 piezoelektrische Aktoren 27 die paarweise im Wechsel angesteuert werden, ähnlich wie es in Verbindung mit den Figuren 2 beschrieben wurde.

15

Die Anordnung 24 gemäß Figur 6c umfasst 16 piezoelektrische Aktoren 28 die wechselweise in Vierergruppen angesteuert werden, ähnlich wie es in Verbindung mit den Figuren 2 beschrieben wurde.

20

Liste der Bezugszeichen

	1	Lagerhülse, Stator
	2	Welle
5	3	Basisflansch
	4	Lagerspalt 4'
	5	Druckplatte
	6	Abdeckplatte
	7	Nabe
10	8	Piezoelektrische Aktoren (8a-8f)
	9	Steuerungseinrichtung
	10	Fluides Medium
	11	Rotationsachse
	12	Vorsprünge
15	13	Piezokeramischer Ring
	14	Anregungsbereich
	15	Anregungsbereich
	16	Aktor, piezoelektrisch, segmentartig
	17	Zwischensegment
20	18	Zwischensegment
	19	Lagerhülse, Stator
	20	Bund
	21	Piezokeramischer Ring
	22	Piezokeramische Anordnung
25	23	Piezokeramische Anordnung
	24	Piezokeramische Anordnung
	25	Resonator
	26	Aktor, segmentartig
	27	Aktor, segmentartig
30	28	Aktor, segmentartig
	29	Trägermaterial
	30	Piezoelektrisches Element
	31	Piezoelektrisches Element

Patentansprüche

1. Piezoelektrische Antriebseinheit zur Erzeugung einer vorzugsweise rotatorischen Antriebsbewegung, welche umfasst:
5 einen Stator (1), einen in Bezug auf den Stator um eine Rotationsachse (11) drehbar angeordneten Rotor (2; 5; 7) und Antriebselemente in Form von vorzugsweise mehreren piezoelektrischen Aktoren (8),
gekennzeichnet durch
einen mit einem fluiden Medium (10) gefüllten ringförmigen Spalt (4'), der
10 zwischen einander zugewandten Oberflächen des Stators (1) und des Rotors (2; 5; 7) ausgebildet ist,
mehrere, an den Spalt angrenzend angeordnete piezoelektrische Aktoren (8a-8f), die bei elektrischer Anregung nach einem vorgegebenen Schema oder einer vorgegebenen Funktion eine im Wesentlichen radiale
15 Längenänderung in Richtung des Spaltes (4') ausführen, derart, dass die abgegebene mechanische Energie der Aktoren als Strömungsenergie auf das fluide Medium übertragen wird, wobei die Strömungsenergie des fluiden Mediums auf den Rotor übertragen und in eine rotatorische Antriebsbewegung des Rotors (2; 5; 7) umgesetzt wird.
20
2. **Piezoelektrische Antriebseinheit nach Anspruch 1**, dadurch gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) entlang des Umfangs des Spaltes (4') angeordnet sind.
- 25 3. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Stator (19) einen als Resonator wirkenden Bund (20) aufweist, der die äußere Begrenzung des Spaltes bildet, wobei am Außenumfang des Bundes (20) ein
piezokeramischer Ring (21; 22; 23; 24) angeordnet ist, der mehrere
30 piezoelektrischen Aktoren (16; 26; 27; 28) umfasst.

4. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) in einer Ebene angeordnet sind.
- 5 5. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) segmentartig ausgebildet sind.
- 10 6. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Teil (5) des Rotors über seinen Umfang verteilt angeordnete, dem Spalt (4') zugewandte und von dem fluiden Medium umströmte rippenförmige Vorsprünge (12) aufweist.
- 15 7. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rotor (2; 5; 7) mittels eines hydrodynamischen Lagersystems im Stator gelagert ist.
- 20 8. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Spalt (4') Teil des Lagerspaltes (4) des hydrodynamischen Lagers ist.
- 25 9. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie als Spindelmotor ausgebildet ist.
10. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie Teil eines Festplattenlaufwerks ist.
- 30 11. Verfahren zur Erzeugung einer vorzugsweise rotatorischen Antriebsbewegung einer einen Stator (1) und einen Rotor (2; 5; 7) umfassende Antriebseinheit, wobei als Antriebselemente vorzugsweise

mehrere piezoelektrische Aktoren (8) verwendet werden,
dadurch gekennzeichnet,

dass die von den piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) abgegebene
mechanische Energie in Strömungsenergie (hydrodynamische Energie)
eines fluiden Mediums (10) gewandelt wird, und die Strömungsenergie
des fluiden Mediums auf den Rotor übertragen und in eine rotatorische
Antriebsbewegung des Rotors (2; 5; 7) umgesetzt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet,** dass das fluide
Medium in einem im Wesentlichen ringförmigen Spalt (4') aufgenommen
ist, wobei die piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) derart angeordnet sind
und angesteuert werden, dass sie eine definierte, gerichtete Strömung
des fluiden Medium innerhalb des Spaltes (4') erzeugen, und der Rotor
von der Strömung in Rotation versetzt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 oder 12, **dadurch**
gekennzeichnet, dass die Aktoren (16; 26; 27; 28) auf einen ringförmigen
Resonator (20) wirken, und diesen derart zum Schwingen anregen, dass
sich eine Wanderwelle ausbildet, deren mechanische Energie als
Strömungsenergie auf das im Spalt befindliche fluide Medium übertragen
wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch**
gekennzeichnet, dass die Strömung im Spalt (4') quer zur
Rotationsachse (11) der Antriebseinheit gerichtet ist.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch**
gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) nach einem
vorgegebenen Schema oder einer vorgegebenen Funktion elektrisch
angesteuert werden.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Bezug auf die Rotationsachse (11) gegenüberliegende piezoelektrischen Aktoren (8a+8d, 8b+8e, 8c+8f) paarweise angesteuert werden.

GEÄNDERTE ANSPRÜCHE

[beim Internationalen Büro am 25. Juli 2005 (25.07.05) eingegangen;
ursprüngliche Ansprüche 1- 16 durch neue Ansprüche 1- 14 ersetzt; (4 Seiten)]

- 5 1. Piezoelektrische Antriebseinheit zur Erzeugung einer vorzugsweise
rotatorischen Antriebsbewegung, welche umfasst:
einen Stator (1), einen in Bezug auf den Stator um eine Rotationsachse
(11) drehbar angeordneten Rotor (2; 5; 7) und Antriebselemente in Form
von vorzugsweise mehreren piezoelektrischen Aktoren (8),
10 einen mit einem fluiden Medium (10) gefüllten ringförmigen Spalt (4'), der
zwischen einander zugewandten Oberflächen des Stators (1) und des
Rotors (2; 5; 7) ausgebildet ist,
mehrere, an den Spalt angrenzend angeordnete piezoelektrische Aktoren
(8a-8f), die bei elektrischer Anregung nach einem vorgegebenen Schema
15 oder einer vorgegebenen Funktion eine im Wesentlichen radiale
Längenänderung in Richtung des Spaltes (4') ausführen, derart, dass die
abgegebene mechanische Energie der Aktoren als Strömungsenergie auf
das fluide Medium übertragen wird, wobei die Strömungsenergie des
fluiden Mediums auf den Rotor übertragen und in eine rotatorische
20 Antriebsbewegung des Rotors (2; 5; 7) umgesetzt wird
dadurch gekennzeichnet,
dass der Rotor (2; 5; 7) mittels eines hydrodynamischen Lagersystems im
Stator gelagert ist, wobei der Spalt (4') Teil eines Lagerspaltes (4) des
hydrodynamischen Lagersystems ist.
25
2. Piezoelektrische Antriebseinheit nach Anspruch 1, **dadurch**
gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) entlang des
Umfangs des Spaltes (4') angeordnet sind.
- 30 3. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass der Stator (19) einen als
Resonator wirkenden Bund (20) aufweist, der die äußere Begrenzung des

Spaltes bildet, wobei am Außenumfang des Bundes (20) ein piezokeramischer Ring (21; 22; 23; 24) angeordnet ist, der mehrere piezoelektrischen Aktoren (16; 26; 27; 28) umfasst.

- 5 4. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) in einer Ebene angeordnet sind.
- 10 5. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) segmentartig ausgebildet sind.
- 15 6. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Teil (5) des Rotors über seinen Umfang verteilt angeordnete, dem Spalt (4') zugewandte und von dem fluiden Medium umströmte rippenförmige Vorsprünge (12) aufweist.
- 20 7. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie als Spindelmotor ausgebildet ist.
- 25 8. Piezoelektrische Antriebseinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie Teil eines Festplattenlaufwerks ist.
- 30 9. Verfahren zur Erzeugung einer vorzugsweise rotatorischen Antriebsbewegung einer einen Stator (1) und einen Rotor (2; 5; 7) umfassende Antriebseinheit, wobei als Antriebselemente vorzugsweise mehrere piezoelektrische Aktoren (8) verwendet werden, wobei die von den piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) abgegebene mechanische Energie in Strömungsenergie (hydrodynamische Energie) eines fluiden Mediums (10) gewandelt wird, und die Strömungsenergie des fluiden Mediums auf

den Rotor übertragen und in eine rotatorische Antriebsbewegung des Rotors (2; 5; 7) umgesetzt wird

dadurch gekennzeichnet,

dass die Strömungsenergie innerhalb eines Lagerspalt (4') erzeugt wird, der zusammen mit einem Lagerspalt (4) Teil eines hydrodynamischen Lagersystems ist, und durch die Rotation des Rotors (2; 5; 7) ein hydrodynamischer Druck im Lagerspalt (4, 4') aufgebaut wird, so dass das Lager tragfähig wird.

- 10 10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet,** dass das fluide Medium in dem im Wesentlichen ringförmigen Spalt (4') aufgenommen ist, wobei die piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) derart angeordnet sind und angesteuert werden, dass sie eine definierte, gerichtete Strömung des fluiden Medium innerhalb des Spaltes (4') erzeugen, und der Rotor von der Strömung in Rotation versetzt wird.
- 15
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Aktoren (16; 26; 27; 28) auf einen ringförmigen Resonator (20) wirken, und diesen derart zum Schwingen anregen, dass sich eine Wanderwelle ausbildet, deren mechanische Energie als Strömungsenergie auf das im Spalt befindliche fluide Medium übertragen wird.
- 20
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Strömung im Spalt (4') quer zur Rotationsachse (11) der Antriebseinheit gerichtet ist.
- 25
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet,** dass die piezoelektrischen Aktoren (8a-8f) nach einem vorgegebenen Schema oder einer vorgegebenen Funktion elektrisch angesteuert werden.
- 30

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Bezug auf die Rotationsachse (11) gegenüberliegende piezoelektrischen Aktoren (8a+8d, 8b+8e, 8c+8f) paarweise angesteuert werden.

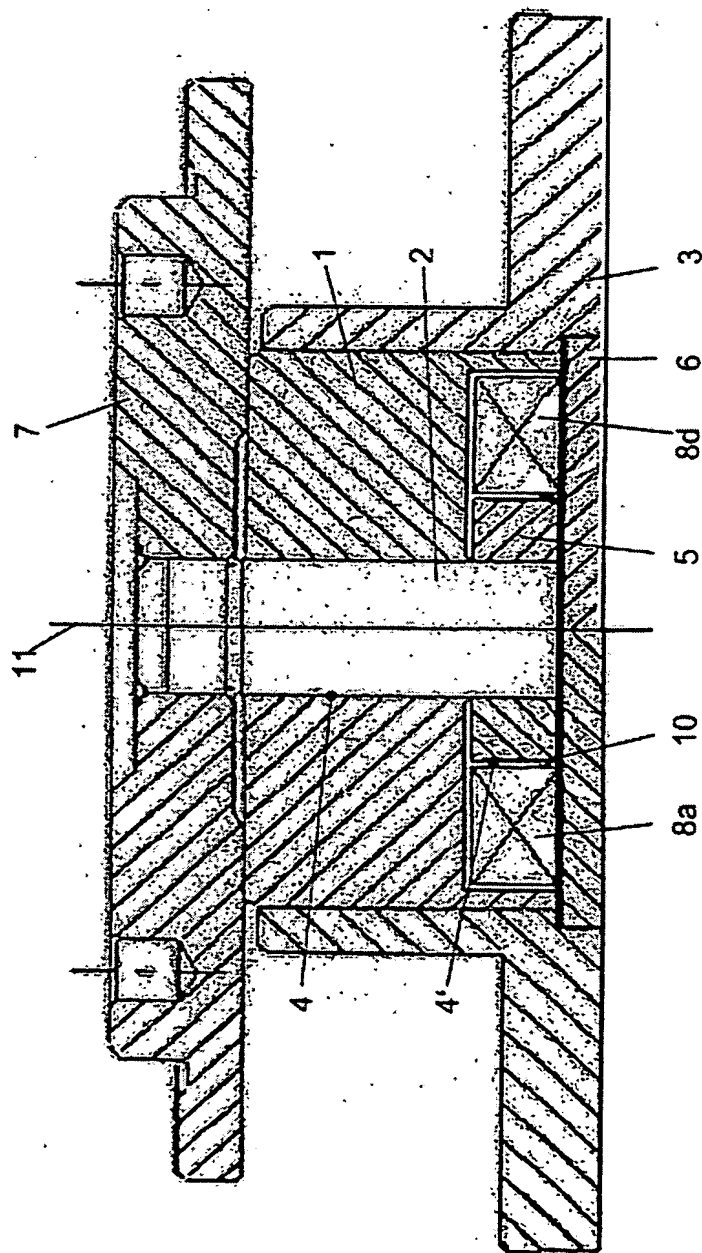


Fig. 1

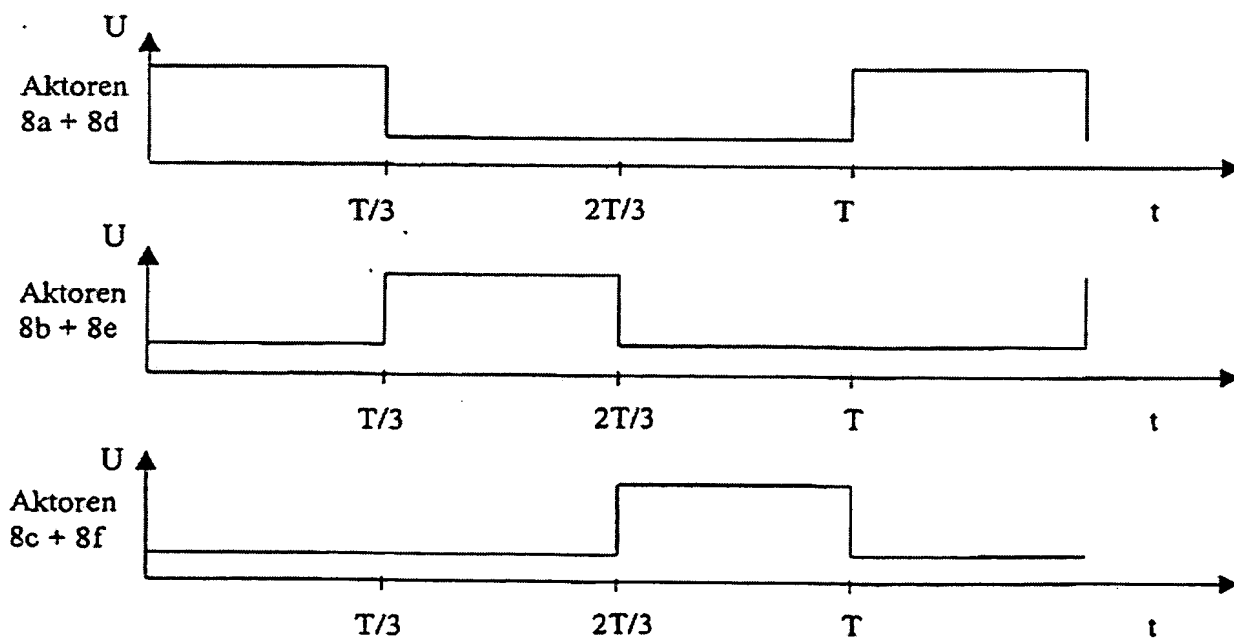
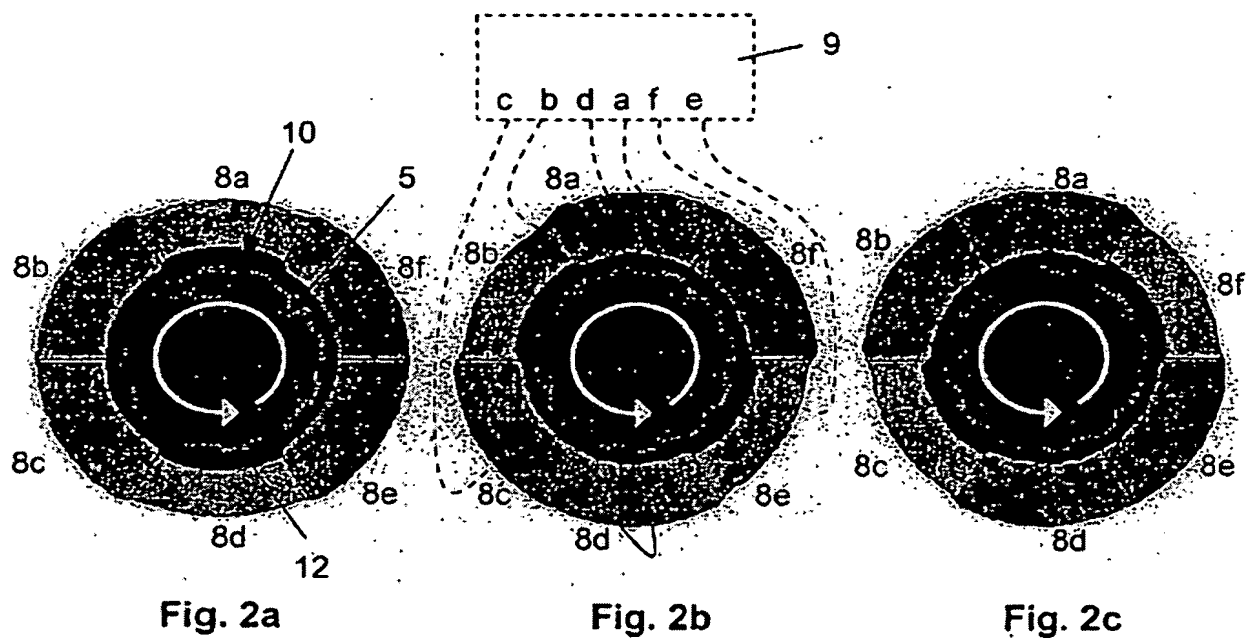


Fig. 3

3/5

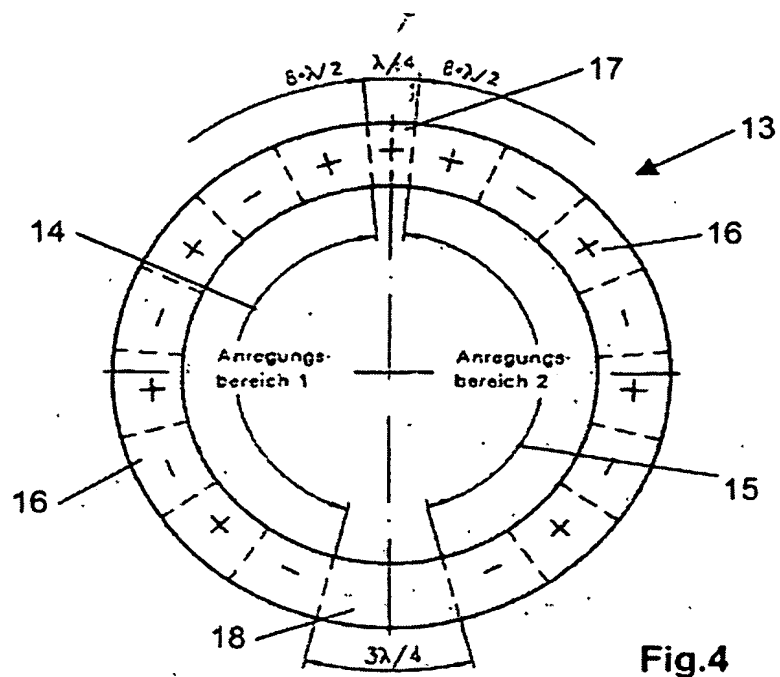


Fig.4

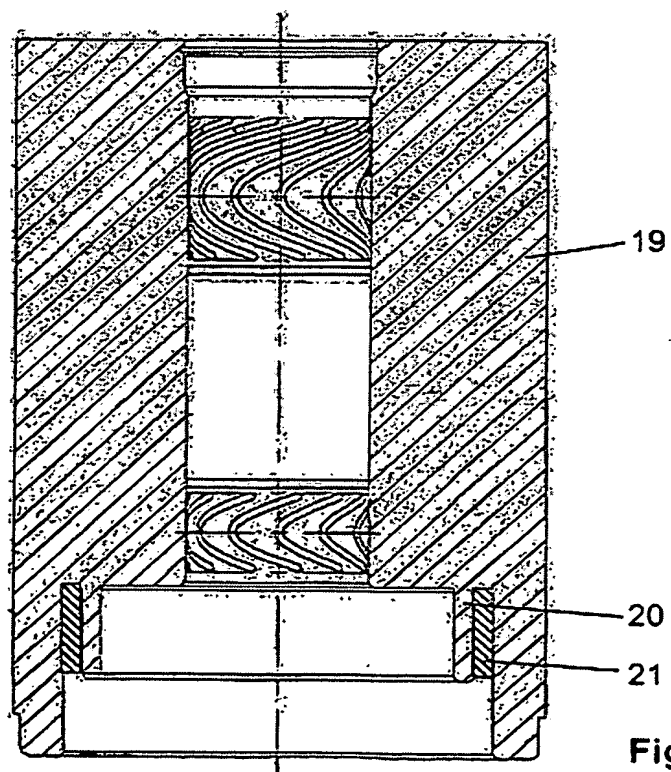


Fig. 5

4/5

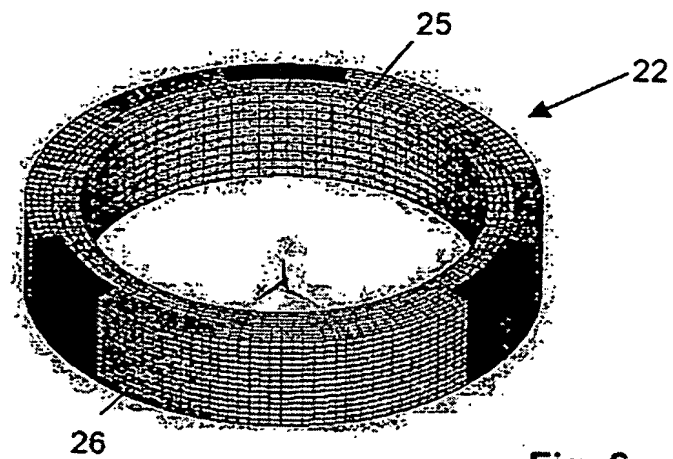


Fig. 6a

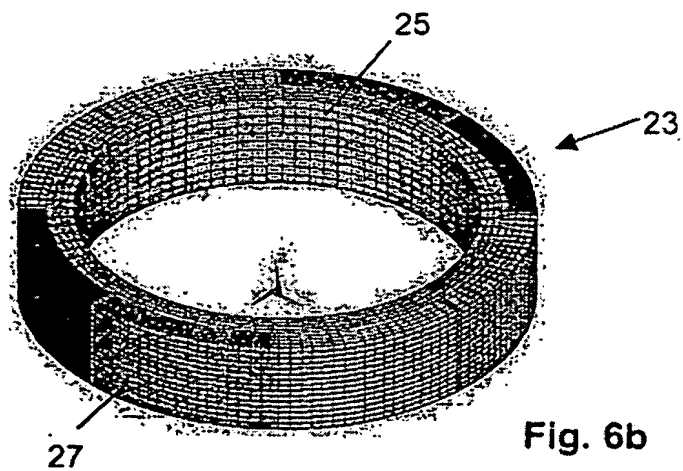


Fig. 6b

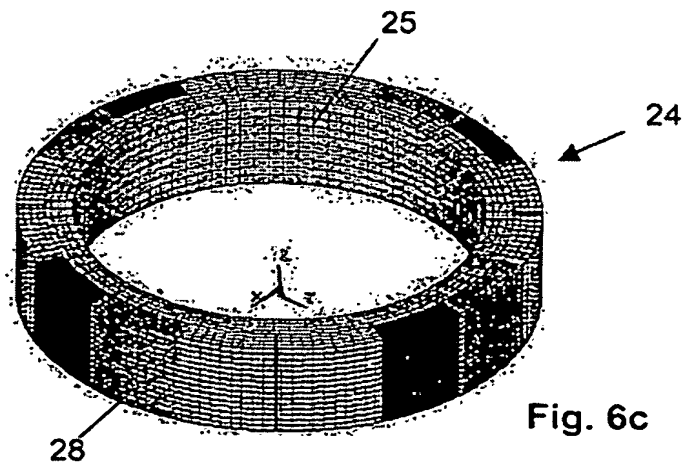


Fig. 6c

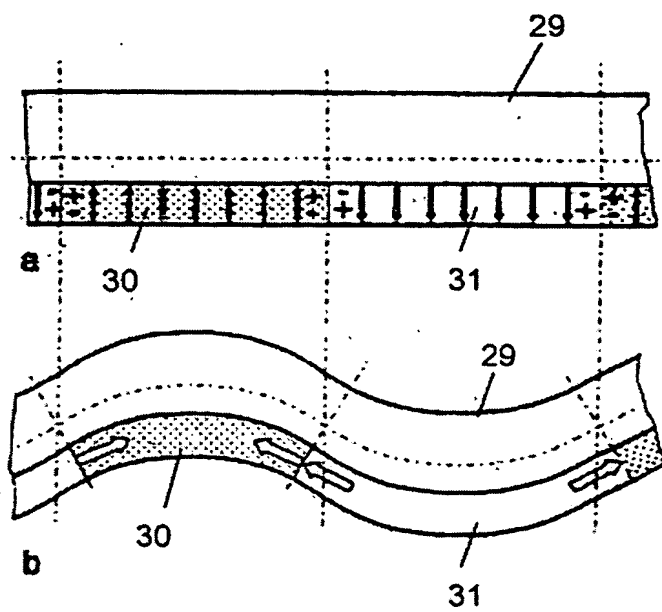


Fig. 7

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/000737

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H01L41/09

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoffe (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	HU J ET AL: "OPTIMUM OPERATION CONDITIONS OF AN ULTRASONIC MOTOR DRIVING FLUID DIRECTLY" JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, PUBLICATION OFFICE JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, TOKYO, JP, Bd. 35, Nr. 5B, 1. Mai 1996 (1996-05-01), Seiten 3289-3294, XP000721091 ISSN: 0021-4922 Absatz '0002!; Abbildungen 1-3 ----- -/-	1-8, 11-16

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung befragt worden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"B" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

3. Mai 2005

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

27/05/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5918 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx 31 651 epo nl
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Gröger, A

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>NAKAMURA K ET AL: "ATRIAL CONSTRUCTION OF AN ULTRASONIC MOTOR WITH FLUID COUPLING" JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, PUBLICATION OFFICE JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS. TOKYO, JP, Bd. 29, Nr. 1, PART 2, Januar 1990 (1990-01), Seiten L160-161, XP000103177 ISSN: 0021-4922 Absatz '0002!; Abbildungen 1-3</p>	1-8, 11-16
X	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 013, Nr. 184 (E-751), 28. April 1989 (1989-04-28) - & JP 01 008879 A (SANYO ELECTRIC CO LTD), 12. Januar 1989 (1989-01-12) Zusammenfassung</p>	1,2,5,6, 9-15
A	<p>YAMAZAKI T ET AL: "TRIAL CONSTRUCTION OF A NONCONTACT ULTRASONIC MOTOR WITH AN ULTRASONICALLY LEVITATED ROTOR" JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, PUBLICATION OFFICE JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS. TOKYO, JP, Bd. 35, Nr. 58, 1. Mai 1996 (1996-05-01), Seiten 3286-3288, XP000721090 ISSN: 0021-4922 Abbildung 4</p>	1-16
A	<p>HU J ET AL: "A NONCONTACT ULTRASONIC MOTOR WITH THE ROTOR LEVITATED BY AXIAL ACOUSTIC VISCOUS FORCE" ELECTRONICS & COMMUNICATIONS IN JAPAN, PART III - FUNDAMENTAL ELECTRONIC SCIENCE, SCRIPTA TECHNICA. NEW YORK, US, Bd. 82, Nr. 4, PART 3, April 1999 (1999-04), Seiten 56-62, XP000920464 ISSN: 1042-0967 Abbildung 1</p>	1-16

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patendomiße gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/000737

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 01008879	A	12-01-1989	KEINE

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/EP2005/000737

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H01L41/09

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	HU J ET AL: "OPTIMUM OPERATION CONDITIONS OF AN ULTRASONIC MOTOR DRIVING FLUID DIRECTLY" JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, PUBLICATION OFFICE JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS. TOKYO, JP, vol. 35, no. 5B, 1 May 1996 (1996-05-01), pages 3289-3294, XP000721091 ISSN: 0021-4922 paragraph '0002!; figures 1-3 ----- -/-	1-8, 11-16

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

Δ document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

3 May 2005

Date of mailing of the international search report

27/05/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5618 Patentaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Gröger, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/EP2005/000737

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	NAKAMURA K ET AL: "ATRIAL CONSTRUCTION OF AN ULTRASONIC MOTOR WITH FLUID COUPLING" JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, PUBLICATION OFFICE JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS. TOKYO, JP, vol. 29, no. 1, PART 2, January 1990 (1990-01), pages L160-161, XP000103177 ISSN: 0021-4922 paragraph '0002!; figures 1-3	1-8, 11-16
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 013, no. 184 (E-751), 28 April 1989 (1989-04-28) -& JP 01 008879 A (SANYO ELECTRIC CO LTD), 12 January 1989 (1989-01-12) abstract	1,2,5,6, 9-15
A	YAMAZAKI T ET AL: "TRIAL CONSTRUCTION OF A NONCONTACT ULTRASONIC MOTOR WITH AN ULTRASONICALLY LEVITATED ROTOR" JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, PUBLICATION OFFICE JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS. TOKYO, JP, vol. 35, no. 58, 1 May 1996 (1996-05-01), pages 3286-3288, XP000721090 ISSN: 0021-4922 figure 4	1-16
A	HU J ET AL: "A NONCONTACT ULTRASONIC MOTOR WITH THE ROTOR LEVITATED BY AXIAL ACOUSTIC VISCOUS FORCE" ELECTRONICS & COMMUNICATIONS IN JAPAN, PART III - FUNDAMENTAL ELECTRONIC SCIENCE, SCRIPTA TECHNICA. NEW YORK, US, vol. 82, no. 4, PART 3, April 1999 (1999-04), pages 56-62, XP000920464 ISSN: 1042-0967 figure 1	1-16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2005/000737

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
-------------------------------------------	---------------------	----------------------------	---------------------

JP 01008879	A	12-01-1989	NONE
-------------	---	------------	------

This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning Operations and is not part of the Official Record.

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.